

CLIPPEDIMAGE= FR002650475A1

PUB-NO: FR002650475A1

DOCUMENT-IDENTIFIER: FR 2650475 A1

TITLE: Method for detecting in plants maladies (diseases) with non-visible symptoms

PUBN-DATE: February 8, 1991

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
DUCHESNE, JEAN	N/A
BOUTEMY, GERARD	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
RHONE POULENC AGROCHIMIE	FR

APPL-NO: FR08910580

APPL-DATE: August 1, 1989

PRIORITY-DATA: FR08910580A (August 1, 1989)

INT-CL_(IPC): A01G007/00; A01G013/00

EUR-CL (EPC): A01G007/00

US-CL-CURRENT: 47/FOR.100,47/58.1 ,47/DIG.8

ABSTRACT:

Method for detecting in plants diseases with non-visible symptoms by detecting the emission of radiation between various zones of crops.

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication : **2 650 475**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **89 10580**

⑤1 Int Cl⁶ : A 01 G 13/00, 7/00.

⑫ **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②2 Date de dépôt : 1^{er} août 1989.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOP « Brevets » n° 6 du 8 février 1991.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : *RHONE POULENC AGROCHIMIE. — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : Jean Duchesne ; Gérard Boutemy.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Charles Brachotte.

⑤4 Procédé de détection des maladies des plantes à symptômes non visibles.

⑤7 Procédé de détection des maladies des plantes à symp-
tômes non visibles par détection d'émission de rayonnement
entre diverses zones de cultures.

FR 2 650 475 - A1

La détection précoce des maladies des plantes, et spécialement des maladies fongiques, est un problème extrêmement important pour de nombreuses raisons. L'une de ces raisons est que, pour enrayer
5 une épidémie, il faut appliquer un traitement phytosanitaire, et généralement un traitement pesticide, le plus tôt possible. Une autre raison est que de nombreuses matières actives fongicides sont actives de manière préventive et n'ont pas beaucoup
10 d'efficacité ou ont une efficacité réduite par voie curative, il est donc trop tard de traiter les cultures lorsque la maladie est pleinement déclarée.

Actuellement la détection précoce des maladies des plantes et spécialement des maladies fongiques
15 et/ou des épidémies est réalisée par des observateurs humains situés à des endroits où l'expérience a montré que les maladies et/ou épidémies ont tendance à se déclancher. Lorsqu'une maladie est déclanchée, c'est-à-dire lorsque la ou les maladies donnent lieu
20 à des symptômes visibles à l'oeil nu, ces observateurs communiquent leurs observations à l'organisme officiel (organisme dépendant d'un ministre du gouvernement en ce qui concerne la France) de la protection des végétaux qui transmet
25 ses avertissements aux divers agriculteurs intéressés. Il est évident qu'un tel système est long à mettre en oeuvre et ne permet en aucune manière une détection rapide et précoce des maladies fongiques ou non fongiques. Certes, il est techniquement plus
30 simple de repérer les maladies lorsqu'elles sont déjà déclarées mais cette détection est trop tardive si elle a pour but de donner un avertissement en vue d'un traitement fongicide préventif.

Un but de la présente invention est de fournir un procédé de détection précoce des maladies des plantes et spécialement des cultures.

5 Un autre but de la présente invention est de fournir un procédé de détection précoce des maladies fongiques des plantes.

Un autre but de la présente invention est de fournir un procédé de détection précoce des maladies des plantes provoquées par des nématodes.

10 Un autre but de la présente invention est de fournir un procédé de détection précoce des maladies des plantes lorsque les plantes atteintes ne présentent pas encore de symptôme visible à l'oeil nu.

15 Un autre but de la présente invention est de fournir un procédé permettant la détection précoce des maladies des plantes lorsque les maladies atteignant les plantes sont seulement au stade d'incubation et non pas au stade de maladies déclarées.

20 Un autre but de la présente invention est de fournir un procédé permettant la détection des maladies des plantes lorsque les maladies atteignant les plantes sont des maladies foliaires ou racinaires.

25 Un autre but de la présente invention est de fournir un procédé permettant la détection des maladies des plantes à un stade où ces maladies ne portent pas ou pas encore atteinte au système vasculaire de la plante ou au système racinaire de la plante, en particulier lorsqu'il s'agit de maladies n'obstruant pas le système vasculaire de la plante.

30 Un autre but de la présente invention est de fournir un procédé de détection précoce des maladies

des plantes lorsqu'il s'agit de maladies devant être traitées par action préventive.

5 L'invention concerne donc un procédé de
détection précoce des maladies des plantes
caractérisé en ce qu'on réceptionne le rayonnement
infrarouge émis par les plantes d'une zone cultivée
(c'est-à-dire comprenant une culture) et que l'on
repère (et de préférence mesure) une différence de
10 rayonnement par rapport à une autre zone semblable du
point de vue de la culture.

L'invention concerne également un procédé de
détection des maladies des plantes caractérisé en ce
qu'on réceptionne et mesure (et éventuellement
15 enregistre) le rayonnement infrarouge émis par les
plantes d'une zone cultivée (c'est-à-dire comprenant
une culture) et que l'on repère une différence de
rayonnement par rapport à une autre zone semblable du
point de vue de la culture.

20 L'invention concerne donc un procédé de
détection des maladies des plantes avant qu'aucun
symptôme ne soit visible (par exemple les maladies en
incubation ou les maladie issues des nématodes où les
symptomes ne sont pas visibles même lorsque la
25 maladie est bien établie). L'invention concerne aussi
un procédé de détection des maladies n'obstruant pas
ou pas encore le système vasculaire des plantes lors
de la détection.

30 Selon un aspect préféré de l'invention, le
procédé de l'invention est caractérisé en ce qu'on
réceptionne un rayonnement infrarouge thermique émis
par les plantes, c'est-à-dire un rayonnement situé
dans la gamme de longueur d'onde comprise entre 5 et

100 microns, avantageusement compris entre 5 et 25 microns, de préférence compris entre 8 et 14 microns.

Ce type de rayonnement est donc un rayonnement essentiellement d'émission et non pas de réflexion.

5 On remarque que le procédé de l'invention est ainsi bien différent des procédés habituels, car les films photographiques actuels (aussi bien les films panchromatiques que les films couleur, les films infrarouge noir et blanc, les films infrarouge
10 couleur) ne sont pas sensibles à ce type de rayonnement . De même le satellite SPOT connu pour faire des enregistrements d'images terrestre ne possède pas de canaux capables d'enregistrer ce type de rayonnement.

15 La réception du rayonnement infrarouge se fait par le moyen d'un récepteur de rayonnement infrarouge connu en soi, de préférence par le moyen d'un récepteur de rayonnement infrarouge thermique connu en soi, et spécialement un récepteur capable
20 d'effectuer des mesures des valeurs du rayonnement ou de la température, et éventuellement des enregistrements de ces mesures. Cet appareil de réception infrarouge peut exprimer le rayonnement reçu soit sous forme de quantité de
25 rayonnement reçu (l'unité la plus courante est alors le watt-m⁻²), soit sous forme d'une autre caractéristique, par exemple la température. Dans ce dernier cas la température s'exprime selon toute unité de mesure connue en soi, de préférence en
30 degrés celsius. Dans ce dernier cas également l'appareil de réception de quantité de rayonnement est de préférence un radiothermomètre , c'est-à- dire un appareil qui mesure la température à distance. Bien entendu , dans le procédé selon l'invention, on

utilise avantageusement des appareils de réception et de mesure de rayonnement infrarouge à sensibilité élevée, et en particulier ayant une sensibilité supérieure aux différences de rayonnement ou de températures qu'on cherche à mesurer

Dans le but d'avoir une meilleure réception de l'émission infrarouge, on préfère réceptionner cette émission en situation d'éclairement solaire direct des plantes cultivées. La présence de nuages blancs ou gris clair obstruant le rayonnement solaire est admissible, mais on préfère opérer la détection en l'absence de tout nuage, et surtout en l'absence de nuages noir ou gris foncé.

La distance entre la zone cultivée sur laquelle on fait la détection et le récepteur (mesureur) de rayonnement infrarouge ou de température n'est pas importante dans la mesure où on respecte les conditions de longueurs d'onde qui ont été spécifiées par ailleurs

On sait que d'une manière générale, il existe une relation entre le rayonnement émis par une surface quelconque, et par une plante en particulier, et la température de ladite surface. La relation est habituellement exprimée sous la forme

$$E = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

σ étant une constante universelle dont la valeur est le plus souvent reconnue comme étant égale à $5,67 \cdot 10^{-8}$

$\text{watt.m}^{-2}.\text{degré Kelvin}^{-4}$

ϵ étant une caractéristique de la surface émettrice, et dans le cas de la présente invention, une caractéristique de la culture dans les conditions particulières de culture considérées. ϵ est généralement voisin de 0,95 à 0,96 pour le blé.

T est la température en degrés kelvin,
c'est-à-dire la température absolue.

5 Selon un autre aspect préféré, le procédé de
l'invention est caractérisé en ce que la culture
émettant le rayonnement est une culture ne comprenant
pas de maladie atteignant le système vasculaire des
plantes cultivées, en particulier n'obstruant pas (au
moment où la détection est faite) le dit système
10 vasculaire.

Selon un autre aspect préféré, le procédé de
l'invention est caractérisé en ce que la culture
émettant le rayonnement est une culture ne comprenant
pas de maladie à un stade telle qu'elle réduit (au
15 moment où la détection est faite) la taille et
l'efficacité du système racinaire.

Selon un autre aspect préféré, le procédé de
l'invention est caractérisé en ce que la culture
émettant le rayonnement est une culture ne comprenant
pas de maladie à un stade telle qu'elle réduit (au
20 moment où la détection est faite) la taille et
l'efficacité du système racinaire de manière à
entraîner des symptômes visibles extérieurement sur
la culture.

25 Dans le but d'opérer dans des conditions plus
favorables à une détection certaine, on préfère
habituellement opérer la détection lorsque l'humidité
du sol est assez homogène, c'est-à-dire suffisamment
30 homogène pour ne pas induire à elle seule des
variabilités de températures significatives par
rapport aux variations de températures observées du
fait de la maladie.

Dans le but encore d'opérer dans des conditions favorables à une détection certaine, on préfère opérer la détection lorsque l'humidité relative de l'atmosphère est faible, c'est-à-dire généralement inférieure à 70 % , de préférence inférieure à 50 % .

Dans le but encore d'opérer dans des conditions plus favorables à une détection certaine, on préfère, dans le cas des céréales, opérer la détection avant l'épiaison, de préférence entre le tallage et le début de la montaison.

Dans le but encore d'opérer dans des conditions plus favorables à une détection certaine, on préfère opérer la détection sur une culture couvrante, c'est-à-dire sur une culture ayant un indice foliaire supérieur à 2, de préférence supérieur à 2,5. Par indice foliaire on entend le rapport entre la surface totale des feuilles des plantes situées dans une zone cultivée donnée et la surface de la dite zone.

Dans le but d'opérer dans des conditions plus favorables à une détection certaine, on préfère opérer la détection dans des conditions opératoires éliminant autant que possible tout phénomène, en particulier les phénomènes météorologiques, pouvant introduire parasitairement des différences de températures ou des différences de rayonnement infrarouge d'origine autre que celui d'une maladie des plantes.

Dans le but d'obtenir une détection plus certaine et plus exacte de la différence de rayonnement ou de température on procède avantageusement par une série de mesures répétées. Généralement ces mesures sont effectuées à intervalles de temps réguliers, l'intervalle individuel ayant une durée comprise avantageusement

entre 2 secondes et 1 minute, de préférence entre 3 et 30 secondes. Généralement encore ces mesures sont effectuées sur un intervalle de temps global compris entre 1 minute et trente minutes, de préférence entre 5 2 minutes et 10 minutes. En divisant la somme des mesures individuelles par le nombre de mesures faites, on obtient une valeur assez correcte du rayonnement ou de la température ou des différences de rayonnement ou de température.

10

Selon ce qui a été dit plus haut, l'invention concerne donc un procédé de détection des maladies des plantes comprenant une phase au cours de laquelle on repère une différence de rayonnement entre une 15 zone cultivée par rapport à une autre zone semblable du point de vue de la culture.

Selon un aspect préféré, le procédé de l'invention est caractérisé en ce que la culture émettant le rayonnement est une culture ne comprenant 20 pas de maladie atteignant le système vasculaire des plantes cultivées, en particulier n'obstruant pas le dit système vasculaire.

Selon ce qui a été dit plus haut le procédé de l'invention comprend une phase de repérage d'une 25 différence de rayonnement reçu entre deux zones semblables du point de vue de la culture.

Par zone semblable du point de vue de la culture, on entend deux zones où se trouvent les 30 mêmes cultures, la même variété culturale, celles-ci étant entretenues dans les mêmes conditions culturales, avec la même densité de semis, la seule différence essentielle et/ou macroscopique entre les deux zones étant une différence dans l'infestation ou

le degré d'infestation par la maladie des deux dites zones.

Les procédés selon l'invention peuvent en fait se répartir en particulier en deux catégories principales selon la manière dont sont disposées les deux zones sur lesquelles se fait le repérage de différence de rayonnement émis : les procédés à zone témoin et les procédés à zones imbriquées.

Dans les procédés à zone témoin , on effectue une mesure différentielle entre la zone cultivée sur laquelle on cherche à détecter une maladie et une zone témoin sans aucune maladie. Pour être sûr que ladite zone est bien une zone témoin sans maladie , on choisit une telle zone ou parcelle de culture qu'on soumet à des traitements phytosanitaires et/ou pesticides complets qui empêchent tout développement d'aucune maladie. Les différences de températures qu'on mesure dans un tel cas sont généralement supérieures à 0,1 °C et avantageusement supérieures à 0,2 °C et peuvent atteindre des valeurs aussi élevées que 0,5 °C ou même 1 ou 2 °C dans certaines circonstances . Les parcelles témoins et parcelles sur lesquelles on effectue la détection, sont des parcelles ou zones de culture ayant une surface généralement comprise entre 1 et 20 m², de préférence comprise entre 2 et 10 m². Dans le cas où la détection se ferait par un récepteur de rayonnement infrarouge mobile, par exemple mobile sur un support volant ou autre se situant à une hauteur élevée (supérieure à 2 m, de préférence supérieure à 5m) , il est nécessaire que le pouvoir de résolution du dit appareil récepteur soit tel qu'il permette de repérer la température spécifique à une zone d'une surface de l'ordre de grandeur de celui qui vient d'être

indiqué. Lorsque le dispositif récepteur de rayonnement infrarouge est fixe, il est avantageusement situé sur un poteau en position élevée de manière à pouvoir étendre sa détection à une zone aussi étendue que possible.

Dans les procédés fonctionnant par zones imbriquées, on préfère opérer la détection (la mesure) du rayonnement ou de la température par balayage de toute une surface cultivée. L'appareil récepteur de rayonnement infrarouge est alors pratiquement une caméra fonctionnant en infrarouge thermique fournissant une image infrarouge de la surface cultivée. Un tel récepteur infrarouge fournit, en opérant par balayage, une sorte de carte thermique de la surface analysée, en sorte que de tels procédés peuvent encore être appelés procédés cartographiques ; ou thermographies . Dans de tels procédés on obtient une carte présentant des taches ou des surfaces localisées correspondant à des températures ou des rayonnements spécifiques et de valeurs distincts du rayonnement ou de la température des zones voisines. Le repérage des différences de températures ou de rayonnement peut être effectué par observation visuelle. Si l'on dispose d'une caméra numérisée fournissant une image numérique, c'est-à-dire où toutes les valeurs locales de rayonnement ou températures sont déterminés par une valeur numérique, on peut alors régler ce récepteur ou caméra de manière à être sensible à des gammes de différences de températures prédéterminées, ce qui fournit des isocontours (c'est-à-dire des lignes de rayonnement ou températures identiques, ces lignes étant séparées l'une de l'autre par une différence de rayonnement ou de température d'une valeur

prédéterminée, par exemple 0,1°C ou 0,2°C ") . Ces isocontours déterminent ainsi eux-mêmes des taches correspondant aux zones atteintes par la maladie.

5 Il est bien entendu que dans tout le présent texte relatif à la présente invention, quand on parle de maladie on entend une maladie comme il a déjà été dit plus haut , c'est-à-dire une maladie pouvant ne donner lieu à aucun symptôme visible .

10 Lorsqu'on opère la détection par balayage dans les procédés à zones imbriquées, le récepteur ou récepteur mesureur de rayonnement infrarouge peut être porté par un avion ou par une maquette d'engin mobile ou par un ULM, c'est-à-dire un engin volant personnel, ou par un engin à vol automatique
15 préprogrammé ou par un ballon captif ou même par un satellite artificiel dans la mesure où un tel satellite dispose d'un pouvoir de résolution suffisant pour déterminer la température d'une zone cultivée ayant une surface telle que celles indiquées
20 plus haut, et dans la mesure où un tel satellite aurait une fréquence de passage adéquate selon ce qui est indiqué plus bas.

Dans un tel procédé à zones imbriquées, l'existence de taches correspondant à des maladies
25 peut être repérée par observation visuelle humaine, étant entendu que l'on peut aussi faire du traitement d'image par ordinateur. On peut ainsi déterminer un procédé avertissant de l'existence probable d'une atteinte par maladie lorsque les taches déterminées
30 par le récepteur représentent plus de 1 % , de préférence plus de 10 ou même 20 % de la surface totale.

Dans ces procédés à zones imbriquées il est généralement avantageux que l'appareil récepteur soit

capable de déterminer des taches correspondant à une surface telle que celles qui ont été définies pour les procédés à zone témoin.

5 Comme maladies fongiques spécialement détectables par le procédé et les dispositifs selon l'invention, on peut citer :

 pour les céréales:

 les fusarioses, notamment *fusarium roseum* et
10 *fusarium nivale*
 les septorioses, notamment *septoria nodorum*
 et *septoria tritici*
 les rouilles, notamment *puccinia*
 striiformis, *puccinia recondita* et *puccinia*
15 *coronata*
 le *pythium*, notamment *pythium* sp.
 l'oïdium (*erysiphe graminis*)
 la *rynchosporiose* (*rhynchosporium secalis*)
 l'*helminthosporiose* (*helminthosporium teres*)
20 le piétin échaudage (*ophiobolus graminis*)

 pour la betterave:

 la rouille (*uromyces betae*)
 la *cercosporiose* (*cercospora beticola*)
25 la *ramulariose* (*ramularia betae*)
 l'oïdium (*erysiphe betae*)
 la rhizomanie (*polymixa betae*)

 pour le colza

30 le *sclerotinia* (*sclerotinia sclerotiorum*)
 les taches blanches (*pseudocercospora capsellae*)
 l'*alternaria* (*alternaria brassicae*)

- la cylindrosporiose (*cylindrosporium concentricum*)
pour le tournesol
le phomopsis (*phomopsis helianti*)
5 le sclerotinia (*sclerotinia sclerotiorum*)
le botrytis (*botrytis cinerea*)
le mildiou (*plasmopara helianti*)
- pour la pomme de terre
10 le mildiou (*phythophthora infestans*)
- pour la vigne
le mildiou (*plasmopara viticola*)
l'oïdium (*uncinula necator*)
15 le rougeot (*pseudopeziza tracheiphila*)
l'excoriose (*phomopsis viticola*)
le black rot (*guignardia bidwellii*)
l'antracnose (*elsinoe ampelina*)
- 20 pour les arbres fruitiers
la tavelure (*venturia inaequalis*)
l'oïdium (*erysiphe* sp)
le mildiou (*phythophthora cactorum*)
- 25 et d'autres maladies telles que la rouille du
caféier (*hemilea vastatrix*), la piriculariose du riz
(*piricularia oryzae*), les maladies bactériennes et
les maladies dues à des mycoplasmes, des nematodes et
des virus.
- 30 L'invention concerne également un procédé
d'avertissement des cultivateurs de cultures
atteintes par des maladies , caractérisé en ce que le
déclanchement de l'avertissement est effectué après

détection des maladies des plantes qui consiste à réceptionner l'émission de rayonnement infrarouge émise par les plantes d'une zone cultivée (c'est-à-dire comprenant une culture) et que l'on repère une
5 différence de rayonnement par rapport à une autre zone semblable du point de vue de la culture.

Dans le procédé d'avertissement selon l'invention, il est avantageux de procéder à une détection de manière répétées tous les n jours, n
10 étant un nombre de jours allant de 1 à 8, de préférence de 2 à 4. De manière avantageuse on augmente la fréquence des détections selon l'invention dans les périodes connues pour être des périodes à risques, ainsi que dans les zones à
15 risques, c'est-à-dire les zones dans lesquelles le parasitisme produit habituellement plus de 20 % de dégât au moins 8 années sur 10.

L'invention concerne encore un procédé de traitement des cultures contre les maladies des
20 plantes, permettant éventuellement d'éviter les épidémies de maladies des plantes caractérisé en ce que l'on détecte la maladie des plantes en réceptionnant l'émission de rayonnement infrarouge des plantes d'une zone cultivée, que l'on repère une
25 différence de rayonnement par rapport à une autre zone semblable au point de vue de la culture, que l'on avertit le cultivateur responsable de la zone cultivée sur laquelle a été faite la détection ou d'une zone cultivée voisine de celle sur laquelle a
30 été faite la détection, et que ledit cultivateur déclenche le traitement phytosanitaire de la ou des dites zones moins de 48 heures après la dite détection, de préférence moins de 24 heures après cette détection.

Les exemples suivants, donnés à titre non limitatifs, illustrent l'invention et montrent comment elle peut être mise en oeuvre.

5

Exemple 1 : DETECTION PRECOCE D'UNE MALADIE PAR
RADIOTHERMOMETRIE DIFFERENTIELLE -

Deux parcelles de blé contiguës d'une surface de 5 000 m² sont placées au centre d'un champ de blé de 6 ha.

10

Une des parcelles est contaminée artificiellement par du Piétin-Verse, cultivé in vitro (CERCOSPORELLA HERPOTRICHOIDES)

15

Au-dessus de chacune des parcelles, est placé un radiothermomètre incliné à 45° par rapport à la verticale et maintenu par une potence à 3 m au-dessus de la culture.

20

Les deux radiothermomètres sont reliés à une centrale d'acquisition de données qui permet d'enregistrer les 2 températures de surface à un intervalle de 3 secondes, de calculer les écarts et de les cumuler.

25

Les conditions micro météorologiques étaient les suivantes :

30

- rayonnement global = 700 W/m²
- vitesse du vent à 3 m au-dessus de la culture = 1m/s
- humidité relative de l'air = 65 %
- température de l'air à 3 m au-dessus du

couvert = 15°

5 Les écarts de température ont fluctué entre 0,5° et 1° et leur cumul pour 100 mesures (5 minutes) a atteint 69°.

10 L'écart moyen de 0,69° correspond à la maladie inoculée puisque toutes les autres conditions culturales sont rigoureusement identiques.
Or, à cette date et, encore 8 jours plus tard, aucun symptôme visible à l'oeil nu, n'a pu être décelé sur la parcelle contaminée.

15 Exemple 2 : DETECTION DE FOYERS DE NEMATODES PAR THERMOGRAPHIE

20 Deux parcelles de blé contigues sont placées au milieu d'un champ de blé de 4 ha. L'une d'elle est contaminée artificiellement par des nématodes (HETERODERA AVENAE) grâce à une rotation culturale appropriée.

25 Au-dessus des parcelles, on maintient une caméra à infrarouge thermique à une hauteur telle que l'image thermique obtenue englobe les deux parcelles :

Le jour de la mesure , les conditions météorologiques étaient les suivantes :

- 30
- rayonnement global = 850 w/m²
 - vitesse du vent = 1,5 m/s
 - humidité relative de l'air = 45 %
 - température de l'air à 3 m au-dessus de la culture = 22°

5 L'image thermique fait nettement apparaître une
différence moyenne de température de l'ordre de 1°
entre les deux parcelles. Cette différence ne peut
être imputable qu'à la présence des nématodes, toutes
conditions culturales et pédologiques étant
identiques par ailleurs.

10 Or à cette date, aucune différence n'était détectable
sur la partie aérienne des plantes, ni à l'oeil nu,
ni par photographie sur film couleur et sur film
infrarouge couleur.

REVENDEICATIONS

- 5 1) Procédé de détection précoce des maladies
des plantes caractérisé en ce qu'on réceptionne le
rayonnement infrarouge émis par les plantes d'une
zone cultivée (c'est-à-dire comprenant une culture)
et que l'on repère, et éventuellement mesure, une
différence de rayonnement par rapport à une autre
zone semblable du point de vue de la culture.
- 10 2) Procédé selon la revendication 1
caractérisé en ce que le procédé de détection est un
procédé de détection des maladies n'obstruant pas ou
pas encore le système vasculaire des plantes lors de
la détection, et/ou ne réduisant pas ou pas encore la
15 taille et l'efficacité du système racinaire.
- 20 3) Procédé selon l'une des revendications 1 ou
2 caractérisé en ce qu'on réceptionne et mesure, et
éventuellement enregistre, le rayonnement infrarouge
émis par les plantes d'une zone cultivée (c'est-à-
dire comprenant une culture) et que l'on repère une
différence de rayonnement par rapport à une autre
zone semblable du point de vue de la culture.
- 25 4) Procédé selon l'une des revendications 1 à
3 caractérisé en ce qu'on détecte des maladies des
plantes avant qu'aucun symptôme ne soit visible,
notamment des maladies en incubation et/ou des
maladies fongiques et/ou des maladies issues des
30 nématodes.

5) Procédé selon l'une des revendications 1 à 4 caractérisé en ce qu'on réceptionne un rayonnement infrarouge thermique émis par les plantes.

5 6) Procédé selon la revendication 5 caractérisé en ce que le rayonnement émis et reçu est un rayonnement situé dans la gamme de longueur d'onde comprise entre 5 et 100 microns, de préférence compris entre 5 et 25 microns.

10

7) Procédé selon la revendication 6 caractérisé en ce que la longueur d'onde est comprise entre 8 et 14 microns.

15

8) Procédé selon l'une des revendications 1 à 7 caractérisé en ce que la détection se fait à l'aide d'un radiothermomètre.

20

9) Procédé selon l'une des revendications 1 à 8 caractérisé en ce que la détection se fait en l'absence de nuages.

25

10) Procédé selon l'une des revendications 1 à 9 caractérisé en ce que la détection se fait sur des plantes directement éclairées par le soleil.

30

11) Procédé selon l'une des revendications 1 à 10 caractérisé en ce que le repérage selon la mesure de différence de rayonnement se fait par mesure de différence de température.

12) Procédé selon l'une des revendications 1 à 11 caractérisé en ce que la détection s'effectue

lorsque l'humidité relative de l'atmosphère est inférieure à 70 % , de préférence inférieure à 50 % .

5 13) Procédé selon l'une des revendications 1 à 12 caractérisé en ce qu'on opère la détection de maladies des céréales avant l'épiaison, de préférence entre le tallage et le début de la montaison.

10 14) Procédé selon l'une des revendications 1 à 13 caractérisé en ce qu'on opère la détection sur une culture couvrante, c'est-à-dire sur une culture ayant un indice foliaire supérieur à 2, de préférence supérieur à 2,5.

15 15) Procédé selon l'une des revendications 1 à 14 caractérisé en ce qu'on opère la détection dans des conditions opératoires éliminant autant que possible tout phénomène, en particulier les phénomènes météorologiques, pouvant introduire
20 parasitairement des différences de températures ou des différences de rayonnement infrarouge d'origine autre que celui d'une maladie des plantes.

25 16) Procédé selon l'une des revendications 1 à 15 caractérisé en ce qu'on procède par une série de mesures répétées.

30 17) Procédé selon l'une des revendications 1 à 16 caractérisé en ce que ces mesures sont effectuées à intervalles de temps réguliers, l'intervalle individuel ayant une durée comprise entre 2 secondes et 1 minute, de préférence entre 3 et 30 secondes.

18) Procédé selon la revendication 17
caractérisé en ce que ces mesures sont effectués sur
un intervalle de temps global compris entre 1 minute
et trente minutes, de préférence entre 2 minutes et
5 10 minutes.

19) Procédé selon l'une des revendications 1 à
18 caractérisé en ce qu'on effectue une mesure
différentielle entre la zone cultivée sur laquelle on
10 cherche à détecter une maladie et une zone témoin
sans aucune maladie.

20) Procédé selon l'une des revendications 1 à
19 caractérisé en ce que les différences de
15 températures qu'on mesure sont supérieures à 0,1 °C
et avantageusement supérieures à 0,2 °C.

21) Procédé selon la revendication 20
caractérisé en ce que les différences de températures
20 mesurées sont supérieures à 0,5°C.

22) Procédé selon l'une des revendications 19 à
21 caractérisé en ce qu'on mesure les différences de
températures entre des parcelles témoins et des
25 parcelles sur lesquelles on effectue la détection,
ces parcelles ou zones de culture ayant une surface
comprise entre 1 et 20 m², de préférence comprise
entre 2 et 10 m².

23) Procédé selon l'une des revendications 1 à
22 caractérisé en ce que la détection se fait par un
récepteur de rayonnement infrarouge mobile, notamment
un récepteur fixé sur un support volant et/ou se
30 situant à plus de 2 mètres de la culture.

24) Procédé selon l'une des revendications 1 à 18 et 20 à 23 caractérisé en ce que la réception et/ou la mesure du rayonnement ou de la température et/ou de la différence de rayonnement ou de température s'effectue par balayage de toute une surface cultivée.

25) Procédé selon la revendication 24 caractérisé en ce que l'appareil récepteur de rayonnement infrarouge est une caméra fonctionnant en infrarouge thermique fournissant une image infrarouge de la surface cultivée.

26) Procédé selon la revendication 25 caractérisé en ce qu'on réalise une carte thermique de la surface analysée.

27) Procédé selon la revendication 26 caractérisé en ce qu'on repère visuellement les différences de température sur les cartes.

28) Procédé selon la revendication 27 caractérisé en ce que la carte représente des isocontours correspondant à des différences de rayonnement ou de températures déterminées

29) Procédé selon la revendication 28 caractérisé en ce que les isocontours sont séparés par des différences de température d'au moins 0,1°C, de préférence au moins 0,2°C.

30) Procédé selon l'une des revendications 24 à 29 caractérisé en ce que la détection s'effectue à

l'aide d'un récepteur ou récepteur-mesureur de rayonnement infrarouge qui est porté par un avion ou par une maquette d'engin mobile ou par un ULM, ou par un engin à vol automatique préprogrammé ou par un ballon captif.

31) Procédé selon l'une des revendications 24 à 30 caractérisé en ce qu'on avertit de l'existence probable d'une atteinte par maladie lorsque les taches déterminées par le récepteur représentent plus de 1 % , de préférence plus de 10 % de la surface totale.

32) Procédé selon l'une des revendications 1 à 31 caractérisé en ce qu'on opère la détection des maladies suivantes :

pour les céréales:

les fusarioses, notamment *fusarium roseum* et *fusarium nivale*

les septorioses, notamment *septoria nodorum* et *septoria tritici*

les rouilles, notamment *puccinia striiformis*, *puccinia recondita* et *puccinia coronata*

le pythium, notamment *pythium* sp.

l'oïdium (*erysiphe graminis*)

la rynchosporiose (*rhynchosporium secalis*)

l'helminthosporiose (*helminthosporium teres*)

le piétin échaudage (*ophiobolus graminis*)

pour la betterave:

la rouille (*uromyces betae*)

la cercosporiose (*cercospora beticola*)

la ramulariose (*ramularia betae*)

l'oïdium (*erysiphe betae*)

- la rhizomanie (*polymixa betae*)
 pour le colza
 le sclerotinia (*sclerotinia sclerotiorum*)
 les taches blanches (*pseudocercospora*
 5 *capsellae*)
 l'*alternaria* (*alternaria brassicae*)
 la cylindrosporiose (*cylindrosporium*
concentricum)
 pour le tournesol
 10 le phomopsis (*phomopsis helianti*)
 le sclerotinia (*sclerotinia sclerotiorum*)
 le botrytis (*botrytis cinerea*)
 le mildiou (*plasmopara helianti*)
 pour la pomme de terre
 15 le mildiou (*phythophthora infestans*)
 pour la vigne
 le mildiou (*plasmopara viticola*)
 l'oïdium (*uncinula necator*)
 le rougeot (*pseudopeziza tracheiphila*)
 20 l'excoriose (*phomopsis viticola*)
 le black rot (*guignardia bidwellii*)
 l'antracnose (*elsinoe ampelina*)
 pour les arbres fruitiers
 la tavelure (*venturia inaequalis*)
 25 l'oïdium (*erysiphe* sp)
 le mildiou (*phythophthora cactorum*).
 et d'autres maladies telles que la rouille du
 caféier (*hemileia vastatrix*), la piriculariose du riz
 (*piricularia oryzae*), les maladies bactériennes et
 30 les maladies dues à des mycoplasmes, des nematodes et
 des virus.

33) Procédé d'avertissement des cultivateurs de
 cultures atteintes par des maladies , caractérisé en

ce que le déclenchement de l'avertissement est effectué après détection des maladies des plantes par un procédé selon l'une des revendications 1 à 32.

5 34) Procédé selon la revendication 33 caractérisé en ce qu'on répète la détection tous les n jours, n étant compris entre 1 et 8, de préférence entre 2 et 4.

10 35) Procédé de traitement des cultures et/ou pour éviter les épidémies de maladies des plantes caractérisé en ce que l'on détecte la maladie des
15 plantes selon l'une des revendications 1 à 34 et que l'on avertit le cultivateur responsable de la zone cultivée sur laquelle a été faite la détection ou
20 d'une zone cultivée voisine de celle sur laquelle a été faite la détection, et que ledit cultivateur déclenche le traitement phytosanitaire de la ou des dites zones moins de 48 heures après la dite
 détection, de préférence moins de 24 heures après cette détection.